

補助事業番号 28-161  
補助事業名 平成28年度 災害発生直後の極限環境における活動を実現する  
ロボティクス技術の開発 補助事業  
補助事業者名 埼玉大学 山口 大介

## 1 研究の概要

極軽量かつ極限環境において駆動可能な災害用ロボットを実現するために、本研究では駆動源となる要素技術について開発を行った。ポリイミドフィルムを主材料としたフィルムアクチュエータ（駆動装置）の開発、駆動を制御する電磁バルブの原理検証、極軽量空圧源の試作・評価を行うことで、カードのように薄く収納でき極軽量、かつ安価に大量生産可能な「フィルモティクス (Film + Robotics = Filmotics)」を実現するために必要な基盤技術を確立した。

## 2 研究の目的と背景

現在開発されている災害用ロボットのほとんどは、重く・堅く・大きいことから災害現場への早急な運搬が困難、温度変化や汚染に弱く極限環境には未対応、高価であり導入時に障害がある、といった課題を有している。そこで、発災直後の初動活動のみを対象とした、大量設置・持ち運びが容易な極軽量小型災害用ロボットの実現を最終目標とし、本研究では必要となる駆動源の製作方法実現、圧力制御・発生源の開発を目的とした。

## 3 研究内容

<http://control.mech.saitama-u.ac.jp/home-j.html>

本研究ではFilmoticsを実現するために、アクチュエータに関する研究、制御バルブに関する研究、空圧源に関する研究という、3つのFilmotics用基盤技術について研究を行った。**極限環境における駆動を実現するアクチュエータの製作方法の確立**

これまでにポリイミド (PI) フィルムを主材料とした極限環境用ソフトアクチュエータを開発してきた。一方で、製作時に破損が生じやすく大量生産が困難であること、繰り返し使用した際の耐久性が低いといった課題があった。複雑な動きを生み出すロボットの製作には同性能を有するアクチュエータを安定して大量に製作することが必要である。

そこで本研究では、図1に示す熱間圧空成型法によるPIフィルム加工技術の確立を行い、図2に示す莢状構造を有するアクチュエータの開発を行った。熱間圧空成型法とは、加熱したフィルム及び金型に対して、高圧ガスを印加する事で型の形状を転写する成型法であり、本研究ではこれをPIフィルムに用いることで任意の形状の製作に成功した。アクチュエータは、内部に空気を印加する事によって、莢状構造が膨張変形を行い、指関節のように屈曲変

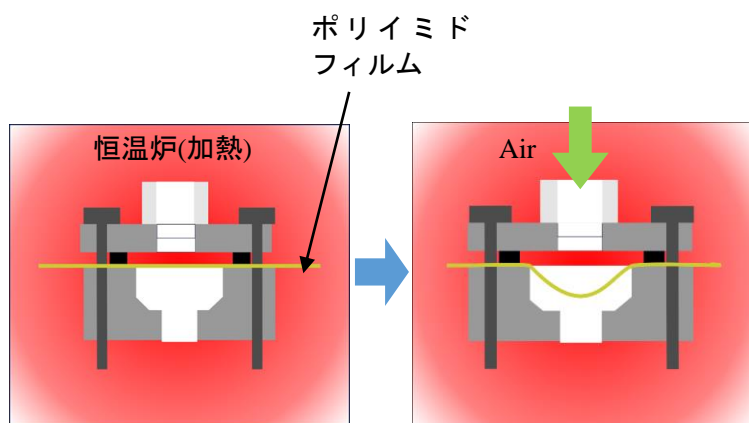


図1 熱間圧空成型法の概要



図2 湾曲型アクチュエータ

形を行う。

### ラッチ機能を有する極軽量バルブの駆動原理確認

極軽量なロボットであるFilmoticsを制御するためには、現在市販されている空圧バルブでは重く、また本研究で対象としている圧力レンジでは過剰性能である。そこで、開閉状態の切り替え以外で電力を消費しないラッチ機能を有した、極軽量・極低圧駆動用バルブの開発を行った。駆動原理確認用に試作したバルブを図3に、駆動原理を図4に示す。空圧印加されたPIフィルム製チューブを永久磁石で潰すことで閉状態とし、距離による磁力の変化と空圧によるPIチューブを押し広げる力の釣り合いを利用することで、ラッチ機能を生じさせている。駆動実験の結果、目的としたラッチ機能、およびFilmotics用バルブとしての空圧特性を確認できた。一方で、電磁石を除いた機械要素だけなら厚さ1mm以下を実現したが、開閉に必要な磁路の形成、必要磁力の発生について検討した結果、小型化における限界が

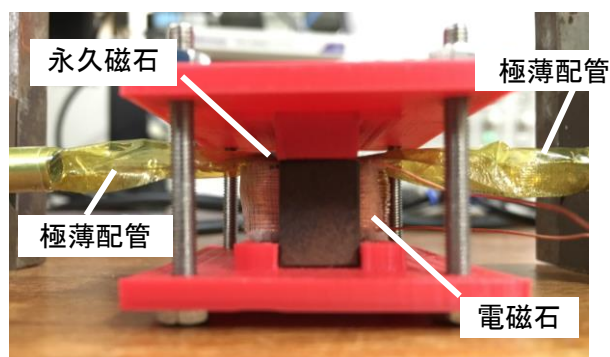


図3 駆動原理確認用バルブ

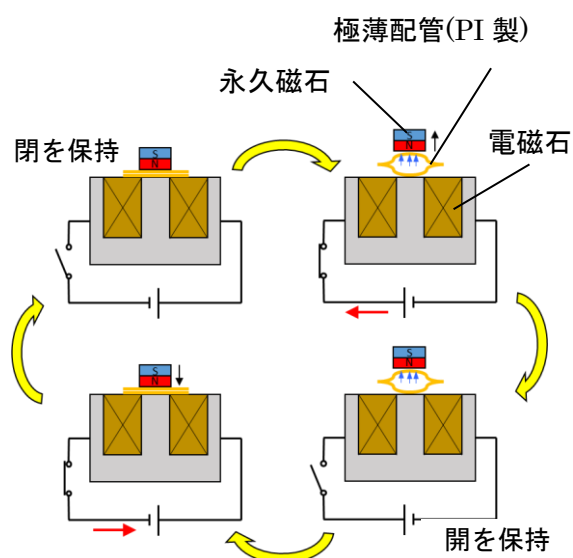


図4 バルブの駆動サイクル

明らかとなった。今後、静電アクチュエータの利用などを検討していく。

### 気液相変化を利用した極軽量空圧源の開発

Filmoticsを駆動するためには、ガス圧を印加する必要があるが、市販されているコンプレッサー、ガスポンプ等はFilmoticsに比べてはるかに重い。そのためアクチュエータ内に設置できるほど小型・極軽量の空圧源を開発した。

本研究で開発したガス圧源を図5に示す。厚さ25 $\mu\text{m}$ のPIフィルム製バルーン底面部に電熱線を貼り合わせ、内包した水を加熱することで水から蒸気への気液相変化を利用し、圧力源とする。今回は、評価実験のために両端にステンレス継ぎ手を設けているが、アクチュエータ内包時には不要であり、5g以下で電気駆動する空圧源を実現する。駆動実験の結果、Filmoticsを駆動するのに十分な圧力を発生させることができ、今後、システムへの一体化

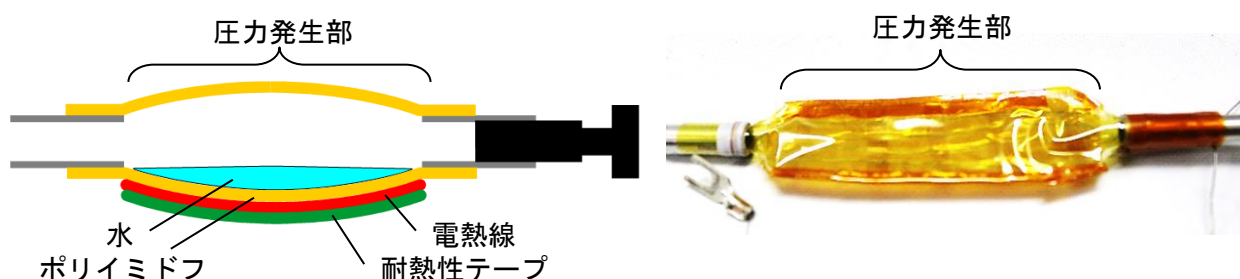


図5 気液相変化を用いたガス圧源の試作機と概要

を進める。

## 4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

本事業では、温度変化や汚染に強く、コンパクトに収納でき極軽量、かつ安価に大量生産可能な、耐極限環境性を備えた災害用ロボットのための基盤技術を確立した。開発した技術を発展させることにより、地震やプラント火災、火山噴火における発災直後の状況把握、避難経路への誘導といった初動活動を助けるロボットの普及・導入に寄与し、実社会に対して受益があると考えられる。

また本研究で使用しているポリイミドフィルムは、高温・極低温耐性、強酸性・強アルカリ耐性、耐放射線性等に優れ、創薬分野、医療分野、宇宙分野などへの応用・進展が期待される。特に人工衛星の保護や太陽パネル、太陽帆への利用などが既に実施されており、本研究で開発した技術を導入することで、ガス圧により展開する極軽量かつ大型のインフレーター構造物の構築などが期待でき、宇宙産業における我が国の競争力の強化につながる可能性を持っている。

## 5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

これまでに、ポリイミドフィルム同士を前処理・接着剤レスで溶着する技術について開発を行ってきており、その技術を基にして空気室、蛇腹構造を有する湾曲型アクチュエータなどを研究してきた。本事業の支援を受け、アクチュエータを組み合わせロボットに応用するために必要となる基盤研究に取り組むことで、応用に必要となる重要技術の開発を飛躍的に進める事ができた。今後は、開発した基盤技術を組み合わせる事で、小型・極軽量ロボットに関する研究を推進していきたい。

## 6 本研究にかかわる知財・発表論文等

### 【学会発表等】

1. 山口大介, ヒトが生きられない環境で動くロボット技術の開発, JST製造技術分野新技術説明, 2016年6月2日, JST東京本部別館
2. 山口大介, 花木樹也, 高井和貴, 石野裕二, 原正之, 高崎正也, 水野毅, 液体窒素温度環境用空圧フィルムアクチュエータの成形加工による製作, ロボティクスメカトロニクス講演会2017, ビッグパレットふくしま
3. 山口大介, 真鍋達矢, 石野裕二, 原正之, 高崎正也, 水野毅, フィルモティクスへの応用を目的とした極薄型バルブの原理確認, 第29回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム (SEAD29), 倉敷アイビースクエア

## 7 補助事業に係る成果物

### (1) 補助事業により作成したもの

上記 学会発表予稿集 等

### (2) (1) 以外で当事業において作成したもの

なし

## 8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 埼玉大学大学院理工学研究科 制御工学研究室

(サイタマダイガクダイガクイン リコウガクケンキュウカ  
セイギョコウガクケンキュウシツ)

住 所： 〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保255

申 請 者： 助教 山口大介 (ジョキョウ ヤマグチダイスケ)

担 当 部 署： 埼玉大学大学院理工学研究科

(サイタマダイガクダイガクインリコウガクケンキュウカ)

E - m a i l : yamaguchi14@mech. saitama-u. ac. jp

U R L : <http://control.mech.saitama-u.ac.jp/home-j.html>